

氏 名	藤 井 正 寛
生 年 月 日	
本 籍	石川県
学 位 の 種 類	博士（工学）
学 位 記 番 号	博甲第 644 号
学位授与の日付	平成 16 年 3 月 25 日
学位授与の要件	課程博士（学位規則第 4 条第 1 項）
学位授与の題目	マイクロマシン技術を応用したプリンタヘッドの開発
論文審査委員(主査)	神谷 好承（自然科学研究科・教授）
論文審査委員(副査)	藤原 直史（工学部・教授） 木村 繁男（自然科学研究科・教授） 門前 亮一（工学部・教授） 関 啓明（工学部・助教授）

## 学 位 論 文 要 旨

Static Electricity Actuated Inkjet Head has been developed for inkjet printers. This type of inkjet technology is different from piezoelectric type. The technology makes possible inkjet printers to obtain smaller size, faster print speed, higher resolution graphics, barcodes, color enhancement, and high reliability.

The inkjet head is fully fabricated by MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) process and its driving voltage is typical 26.5V. The electrostatic actuator comprises a Si pressure plate and a corresponding transparent electrode parallel to the pressure plate. They are assembled precisely to keep the gap 180 nm between them. The inkjet head has achieved the uniform ink firing characteristics up to 16 kHz. The durability of the actuator has been confirmed to be more than 10 billion times actuation.

In this paper the inkjet technology is introduced. And its structure, ink ejection mechanism, fabrication process, driving method and characterizations are demonstrated.

### 1.はじめに

静電駆動によりインクを吐出する新規なインクジェットプリンタ用ヘッドを開発，実用化した．従来から，インクジェットプリンタ用ヘッドのインク吐出機構として，圧電素子に電圧を印加してインクに圧力を加えてインクを吐出する方式と，熱によりインクを沸騰させた圧力を用いる方法とが一般的に採用され，広く市販されている．

開発，実用化したプリンタヘッドは，これら従来の方式とは異なる方式であり，静電アクチュエータによる新規吐出機構を有する小型インクジェットヘッドであり，静電アクチュエータおよびインク流路全体がマイクロマシン技術によって作られる．フォトリソ

を用いたフォトリソグラフィ等の半導体製造技術応用した超微細化工技術を駆使してノズル等のインク流路が形成でき、インクジェットプリンタの仕様に対して、高密度で小型化が可能で、消費電力も少ないという特長を兼ね備える。

本論文では、マイクロマシン技術を応用した静電駆動型のインクジェットヘッドの構造、インク吐出原理、製造方法、駆動制御方法を示すと共に、その性能について明らかにし、新規な吐出機構の特長を示す。更に、静電駆動方式のインクジェットヘッドの方向性と、これら技術

の応用の可能性について述べた。

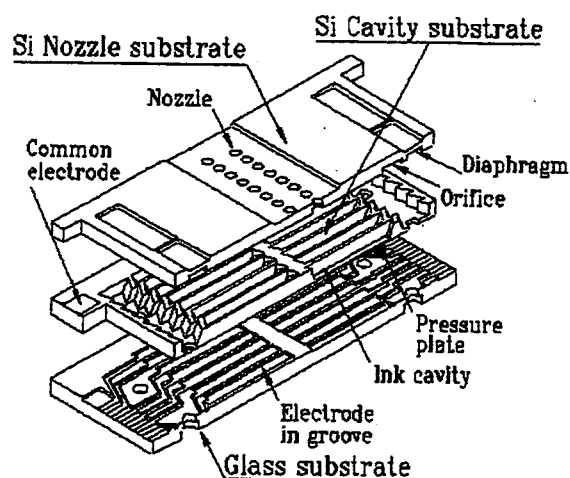


図 1 : ヘッドチップ分解斜視図

## 2.構造と製造方法、動作原理

開発したインクジェットヘッドの構造は、図 1 及び図 2 に示すように 3 層に積層して形成されている。ノズルとオリフィスを有する Si ノズルプレート、インクキャビティと振動板を有する Si キャビティプレート、ギャップが形成されその中に電極を配した電極ガラスからなる。

これらの構造の形成に適用される特徴的な技術としては、3D 多段ドライエッチング方式 (DEEP-RIE 深堀ドライエッチング + 多段フォトリソ技術) により作られた多段ノズル、2 段異方性ウェットエッチング方式により作られた高精度 Si キャビティ、高濃度ボロンドープエッチストップ方式により作られた超平坦高精度振動板形成、陽極接合技術による高精度ギャップ (電極間距離) 形成技術などが挙げられる。

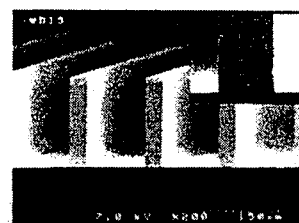
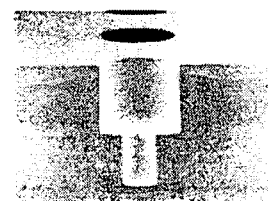
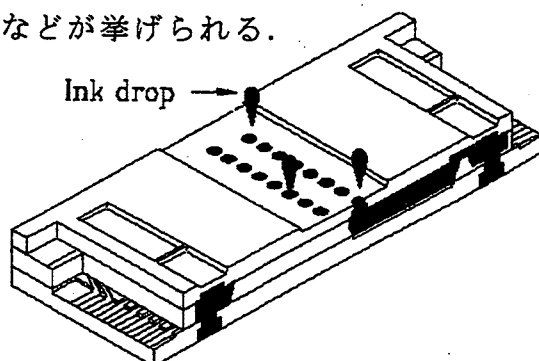


図 2 : ヘッドチップ外観斜視図 (左) とノズル (右上), キャビティ断面 (右下) SEM 写真

また、Si 異方性エッチングを利用して主にその (111) 面でインク流路を形成する。

静電アクチュエータは、Si キャビティの底面に形成された極薄低抵抗の Si 振動板とギャップを介してガラスプレート上に平行に形成された ITO 個別電極からなる。

初期状態は図 3 (a) で振動板と ITO 電極間に DC 電圧を印加することにより、振動板は ITO 電極側に撓み、完全に当接する。この状態は図 3 (b) で表され、同時にインクはインククリザーバーよりオリフィスを通してキャビティに流れ込む。次に図 3 (c) のように、DC 電圧をすばやく 0 V にすることにより振動板は元の状態に復帰し、インクキャビティ内の圧力を急上昇させインクをノズルより吐出させることができる。

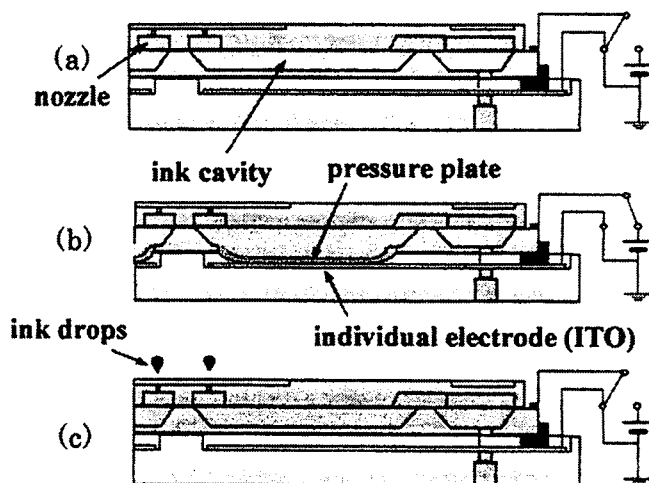


図 3 動作原理

### 3. 設計仕様と特性

開発されたヘッドの外観図を図 4 に、また、ヘッドを搭載したプリンタの外観を図 5 に示す。このプリンタは業務用プリンタであり、搭載されているインクジェットヘッドの仕様は、

128 ノズル (64  
ノズル / 列 × 2

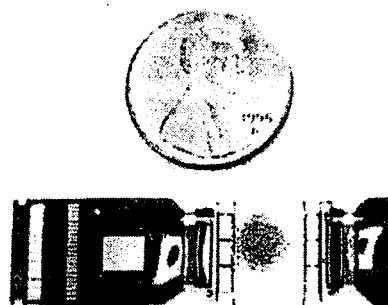


図 4: ヘッドチップ外観

列配列)、ノズル列密度 180npi (ノズル・パー・インチ)、駆動電圧 26.5V、駆動周波数 16kHz である。2 列のノズル列の片方のノズル列からは主色のインクが吐出し、もう片列からは副色のインクが吐出する。主色インクには黒色インクを用い、



図 5: 開発ヘッド搭載の業務用プリンタ

副色インクとしては赤／青／緑のうち1色を選択可能である。

ヘッドのインク液滴吐出性能はインク滴質量が約 21ng/shot、インク速度が約 8m/sec、ヘッド耐久性については 16 億 shot（吐出回数）以上である。ヘッドチップサイズは W13.8×D12.4×H1.36mmとした。これらを達成する主なヘッド寸法諸元として、振動板長さ：2.8mm、振動板幅：104 $\mu$ m、振動板厚み：2.2 $\mu$ m、ギャップ長：180nm、ノズル直径： $\phi$  25 $\mu$ mとした。

#### 4.特性

完成したヘッドの性能は、設計仕様とほぼ同一のインク吐出性能とインク滴速度、インク滴質量等を得た。また 25℃におけるノズル間のインクスピードのばらつきは、 $\pm 5\%$ 以内に入っていることが確認された。更に、16 億 shotを超えるヘッド耐久性が確認された。

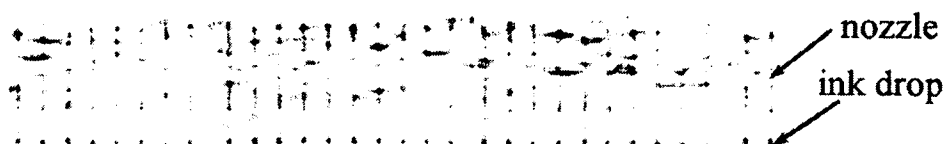


図 6：インク液滴吐出の様子（ストロボ写真）

また、平均電力消費は、1ノズル当たり 0.525mW で、一般のサーマルインクジェットに比べ約 1/1000 であった。

#### 5.今後の展開

プリンタ商品としては高精細化、小型化、多色化、さらなる高速化が求められている。一方で、マイクロマシン技術は半導体プロセス技術の発展に伴い微細化・高精度化が将来的にも進行し、ナノテクノロジー関連技術として進化する方向にある。マイクロマシン技術を応用した同ヘッドはマイクロマシン技術の発展と共に、高精細印刷と小型化を目指して今後も更なる発展が期待されている。

## 学位論文審査結果の要旨

平成 16 年 1 月 30 日に第 1 回学位論文審査委員会を開催し、提出された学位論文および関係資料に基づき検討した。同年 2 月 6 日の口頭発表後に開催した第 2 回学位論文審査委員会において協議の結果、以下のよう  
に判定した。

インクジェットプリンタ用ヘッドのインク吐出機構として、圧電素子に電圧を印可してインクを吐出する方式、あるいは熱によりインクを沸騰させその圧力を用いて吐出する従来方式とは別に、静電駆動によりインクを吐出する新たなプリンタ用ヘッドの開発と実用化を目指している。開発、実用化したプリンタヘッドは静電アクチュエータおよびインク流路全体をマイクロマシン技術によって製作した小型インクジェットヘッドである。マスクを用いたフォトリソグラフィ等の半導体製造技術を応用した超微細加工技術を駆使してノズル等のインク流路を形成し、プリンタヘッドに要求される。高密度化と小型化を可能とし、また低消費電力という特徴を兼ね備えることができた。

本研究は、マイクロマシン技術を応用した静電駆動型のインクジェットヘッドの構造、インク吐出原理、製造方法、駆動制御方法を明らかにすると共に、その性能について詳細に検討しており、本論文はきわめて有益な知見を与えるものであり、博士（工学）に値するものと判定する。